



SKRIPSI ME-141501

**DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA
DI RUANG PALKAH KAPAL MENGGUNAKAN
GAS NITROGEN**

**NATALIA DEA KARTIKA
NRP 4212100129**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT ME-141501

**DESIGN OF COAL DRYING SYSTEM
IN THE PALKAH ROOM ON SHIP BY USING
NITROGEN GAS**

**NATALIA DEA KARTIKA
NRP 4212100129**

**Supervisor:
Ir. Alam Baheramasyah, M.Sc.**

**MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
TEN NOVEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA
DI RUANG PALKAH KAPAL
MENGGUNAKAN GAS NITROGEN
SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Natalia Dea Kartika
NRP : 4212 100 129

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
NIP. 1968 0129 1992 03 1001



SURABAYA
JULI 2016

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA

DI RUANG PALKAH KAPAL

MENGGUNAKAN GAS NITROGEN

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Natalia Dea Kartika

NRP : 4212 100 129

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 197708022008011007

DESAIN SISTEM PENGERINGAN BATUBARA DI RUANG PALKAH KAPAL MENGGUNAKAN GAS NITROGEN

Nama Mahasiswa : Natalia Dea Kartika
NRP : 4212 100 129
Dosen Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc..

ABSTRAK

Batubara Indonesia pada umumnya didominasi oleh batubara peringkat rendah yaitu sekitar 60-70% dari total cadangan batubara. Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan air total cukup tinggi sehingga nilai kalor menjadi rendah. Untuk meningkatkan nilai kalor batubara dibutuhkan proses pengeringan. Salah satu inovasi untuk meningkatkan nilai kalor batubara yaitu dengan melakukan proses pengeringan batubara dengan Gas Nitrogen. Proses pengeringan ini akan dilakukan di kapal *Coal Carrier* sebelum batubara sampai di pelabuhan tujuan. Untuk memasok kebutuhan Gas Nitrogen diperlukan alat tambahan yaitu Generator Nitrogen. Gas Nitrogen yang berasal dari Generator tersebut akan dialirkan kepada setiap ruang palkah kapal dengan temperatur pengeringan 55°C. Lama waktu pengeringan berlangsung 2 jam selama pelayaran kapal. Hal tersebut sudah sesuai dengan waktu estimasi dari proses pengeringan. Metode pengeringan yang digunakan yaitu *constant rate-drying*. Setelah proses pengeringan menggunakan Gas Nitrogen maka kandungan uap air yang terambil yaitu <7,2%.

Kata kunci : Batubara, Palkah Kapal, Pengeringan, Gas Nitrogen

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN OF COAL DRYING SYSTEM IN THE PALKAH ROOM ON SHIP BY USING NITROGEN GAS

Student Name : Natalia Dea Kartika
NRP : 4212 100 129
Advisor : Ir. Alam Baheramasyah, M.Sc

ABSTRACT

Indonesian coal is generally dominated by low rank coal which is about 60-70% of the total coal reserves. Low rank coal moisture content is high enough so that the total calorific value is low. To increase the calorific value of coal required drying process. One of the innovations to increase the calorific value of coal is the coal drying process with Nitrogen Gas. The drying process will be conducted in the vessel Coal Carrier before the coal to the port of destination. Nitrogen Gas to supply the required additional equipment is required Nitrogen Generator. Nitrogen gas coming from the generator will be supplied to every cargo tank ship with drying temperature 55°C. It is in accordance with the estimated time of the drying process. The drying time takes 2 hours during cruise ships. Drying method used is the constant rate-drying. After the drying process using Nitrogen gas, then drawn moisture content is <7,2%.

Keywords: Coal, Cargo Tank Ship, Drying, Nitrogen Gas

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak.....	vii
Kata Pengantar.....	xi
Daftar Isi.....	xiii
Daftar Gambar.....	xvi
Daftar Tabel.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	4
I.3. Batasan Masalah.....	4
I.4. Tujuan.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. Batubara di Indonesia.....	5
II.2. Klasifikasi Batubara.....	5
II.3. Sistem Pengeringan Batubara.....	8
II.3.1. Teori Pengeringan.....	8

II.3.2. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam kecepatan pengeringan.....	10
II.3.3. Metode Umum Pengeringan.....	12
II.4. Sistem Pengeringan Batubara Menggunakan	
Gas Nitrogen.....	12
II.5. <i>Low Heating Value (LHV)</i> dan <i>High Heating Value (HHV)</i>	14
II.6. Prinsip Kerja Generator Nitrogen.....	15
II.6.1. Cara kerja Membran dari Generator Nitrogen.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1. Flowchart.....	19
III.2. Deskripsi Flowchart.....	20
BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN	
IV.1. Data Kapal.....	23
IV.2. Volume Ruang Palkah Kapal.....	24
IV.3. Perhitungan Massa Batubara pada Ruang Palkah.....	24
IV.4. Perhitungan <i>Humidity</i> dan <i>Relative Humidity</i>	25
IV.5. Perhitungan Nilai Koefisien Transfer Pengeringan	
Untuk Periode <i>Constan-Rate Drying</i>	29
IV.6. Perhitungan <i>Moisture Content</i>	
Setelah Proses Pengeringan.....	37

IV.7. Perhitungan Waktu Periode yang Dibutuhkan Untuk Proses Pengeringan Batubara.....	40
IV.8. Perhitungan Nilai Panas (<i>Heating Value</i>) Batubara.....	41
IV.9. Perhitungan Diameter Pipa dari Sistem Aliran Gas Nitrogen.....	43
IV.10. Perhitungan <i>Pressure Drop</i> dari Sistem Distribusi Gas Nitrogen.....	44
IV.10.1. Perhitungan Reynold Number.....	45
IV.10.2. Perhitungan Faktor Gesekan.....	45
IV.10.3. Perhitungan <i>Pressure Drop</i>	45
IV.11. Spesifikasi Generator Nitrogen.....	46
IV.12. Desain Keyplan.....	47
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1. Kesimpulan.....	49
V.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Tabel Spesifikasi Pipa (1).....	53
Tabel 4.2. Tabel Spesifikasi Pipa (2).....	53
Tabel 4.3. Spesifikasi Batubara.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Data Produksi, Ekspor, dan Penjualan Dalam Negeri Batubara Indonesia (2009-2014).....	1
Gambar 2.1. Batubara Lignit.....	6
Gambar 2.2. Batubara Sub-Bituminus.....	6
Gambar 2.3. Batubara Bituminus.....	7
Gambar 2.4. Batubara Antrasit.....	7
Gambar 2.5. Rangkaian dari Generator Nitrogen.....	16
Gambar 2.6. Aliran Gas dalam Membran Pemisah.....	17
Gambar 2.7. Aliran Gas dalam Separator.....	17
Gambar 4.1. Main Deck MV. KARTIKA JAYA COAL.....	24
Gambar 4.2. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah I.....	29
Gambar 4.3. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah II.....	31
Gambar 4.4. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah III.....	32
Gambar 4.5. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah IV.....	34
Gambar 4.6. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah V.....	36
Gambar 4.7. Copper Pipe.....	44
Gambar 4.8. Rangkaian dari Generator Nitrogen.....	46
Gambar 4.9. Keyplan Sistem Distribusi Aliran Gas Nitrogen MV. KARTIKA JAYA COAL.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia mempunyai sumber daya batubara yang cukup besar dan sebagian besar sumber daya tersebut termasuk ke dalam batubara peringkat rendah berupa lignit dan sub-bituminus yang memiliki kadar air yang tinggi. Tingginya kadar air menyebabkan rendahnya nilai kalor, sehingga pemanfaatan batubara jenis ini menjadi terbatas dan sulit untuk dipasarkan. Oleh karena itu perlu adanya teknologi pengeringan yang dapat meningkatkan nilai kalor dari batubara tersebut.



Gambar 1.1 Grafik Data Produksi, Ekspor, dan Penjualan Dalam Negeri Batubara Indonesia (2009-2014)

Sumber :Asosiasi Pertambangan Batubara Indonesia

Pada tahun 2014, jumlah ekspor batubara mengalami penurunan yaitu sebanyak 382 juta ton. Data tersebut diambil dari Asosisasi Pertambangan Batubara Indonesia. Kualitas batubara Indonesia yang pada umumnya didominasi oleh

batubara peringkat rendah (lignit) yaitu sekitar 60-70% dari total cadangan batubara. Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan air total cukup tinggi sehingga nilai kalor menjadi rendah.

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil yang sampai saat ini digunakan oleh masyarakat di seluruh dunia. Di Indonesia, batubara merupakan salah satu sumber daya alam yang melimpah. Potensi sumberdaya batubara di Indonesia sangat melimpah, terutama di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera, sedangkan di daerah lainnya dapat dijumpai batubara walaupun dalam jumlah kecil dan belum dapat ditentukan keekonomisannya, seperti di Jawa Barat, Jawa Tengah, Papua, dan Sulawesi. Badan Geologi Nasional memperkirakan Indonesia masih memiliki 160 miliar ton cadangan batubara yang belum dieksplorasi. Cadangan tersebut sebagian besar berada di Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan. Namun upaya eksplorasi batubara kerap terkendala status lahan tambang. Daerah-daerah tempat cadangan batubara sebagian besar berada di kawasan hutan konservasi. Rata-rata produksi pertambangan batubara di Indonesia mencapai 300 juta ton per tahun. Dari jumlah itu, sekitar 10 persen digunakan untuk kebutuhan energi dalam negeri, dan sebagian besar sisanya (90% lebih) diekspor ke luar.

Ada beberapa negara yang biasanya melakukan impor batubara dari Indonesia, seperti China, India, Jepang dan Korea. Untuk pengiriman batubara ini lewat jalur laut. Hal tersebut dikarenakan permintaan setiap tahun semakin meningkat, maka pemerintah menambah kuota untuk pengiriman batubara ke negara tersebut dengan cara memperbesar kapal maupun mempercepat pengiriman dari batubara tersebut.

Transportasi yang nantinya akan digunakan saat melakukan ekspor yaitu kapal. Kapal yang mengangkut bara biasanya kapal *Bulk Carrier* atau *Coal Carrier*. Tipe batubara yang biasanya diangkut oleh *Coal Carrier* yaitu Batubara Sub-Bituminous yang berukuran ± 50 mm. Batubara jenis ini

merupakan peralihan antara jenis lignit dan bitumine. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis sub-bitumine ini merupakan batubara tingkat rendah. Untuk meningkatkan kualitas dari batubara ialah dengan meningkatkan nilai kalor dari batubara tersebut. Berbagai macam metode dapat digunakan untuk meningkatkan nilai kalor batubara.

Menurut penelitian Genta Arias, pada Tahun 2013, Ada beberapa cara penanggulangan ledakan pada batubara dan salah satunya adalah penggunaan Gas Inert. Oleh karena itu diciptakan teknologi sistem pengeringan menggunakan gas nitrogen. Teknologi peningkatan kualitas yang dimaksud ditujukan untuk menaikkan heating value dari batubara dengan cara menghilangkan kadar air yang terkandung dalam batubara. Metode pemanasan tanpa oksigen merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas batubara. Metode ini cukup sederhana dan memiliki efisiensi pengeringan yang cukup baik. Kenaikan nilai kalor hasil pengeringan menggunakan metode ini cukup tinggi, yaitu sekitar 2000 – 3000 kcal/kg. Teknologi ini telah dikembangkan dan diaplikasikan secara komersil oleh *GB Clean Energy (GBCE) Limited* di China.

Pengeringan batubara (*coal drying*) bertujuan untuk menghilangkan atau menurunkan kadar air yang terkandung pada batubara, sehingga dengan berkurangnya moisture content ini mampu meningkatkan nilai kalor dari batubara. Penggunaan batubara yang telah dikeringkan juga dapat meningkatkan efisiensi proses operasi, menurunkan biaya perawatan utilitas peralatan, serta mengurangi resiko terjadinya bahaya kebakaran spontan. Dengan adanya metode pengeringan tersebut, maka Tugas Akhir yang direncanakan mengenai Desain Sistem Pengeringan Batubara di Ruang Palkah Kapal Menggunakan Gas Nitrogen.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun masalah yang muncul diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana sistem aliran distribusi gas Nitrogen yang akan diinjeksikan pada ruang palkah ?
- b. Bagaimana cara perhitungan untuk menghilangkan kadar uap air yang terdapat pada batubara di ruang palkah dan lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan batubara?
- c. Bagaimana Nilai Panas (*Heating Value*) dari batubara sebelum dan sesudah dilakukan pengeringan?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalahnya adalah :

- a. Metode sistem pengeringan batubara menggunakan gas nitrogen.
- b. Proses pengeringan batubara hanya terjadi di permukaan batubara.
- c. Dinding ruang palkah dalam kondisi kedap udara.
- d. Analisa hanya difokuskan pada sistem distribusi gas Nitrogen dan jenis Nitrogen yang akan diinjeksikan dalam ruang palkah.
- e. Metode perhitungan menggunakan Periode *Constant Rate Drying*.
- f. Tidak menganalisa segi ekonomis.

I.4. Tujuan

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Mendesain sistem aliran distribusi Nitrogen yang akan diinjeksikan dalam ruang palkah.
- b. Menghitung serta menganalisa cara mengurangi kadar uap air yang terdapat dalam batubara waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan batubara.
- c. Menghitung *Low Heating Value* dan *High Heating Value* batubara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Batubara di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu penghasil batu bara terbesar dunia telah merasakan dampak adanya peningkatan permintaan tersebut berdasarkan indikasi peningkatan produksi. Cadangan batu bara yang dimiliki Indonesia saat ini tercatat sebanyak 22,2 miliar ton, 7,12 miliar ton diantaranya cadangan siap tambang. Tahun 2000, produksi batu bara Indonesia baru mencapai 77,14 juta ton, namun memasuki tahun 2008 produksinya sudah mencapai 231,18 juta ton, berarti sudah mengalami kenaikan sebesar 299,69%. Dari jumlah produksi sebesar itu, yang terserap oleh industri dalam negeri hanya 25,86%, selebihnya di ekspor ke berbagai negara. Dalam kurun waktu delapan tahun ini komposisi penjualan batu bara dalam negeri dan ekspor ini relatif stabil, padahal pemakaian batu bara dalam negeri naik rata-rata 10,79% per tahun.

Jaminan pemasokan batu bara dalam negeri sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan ketersediaan energi nasional, sehingga perlu dijajaki kemungkinan pembentukan stok batu bara nasional. Penyediaan stok batu bara dalam rangka menjamin kebutuhan batu bara dalam negeri dapat diperoleh dari berbagai sumber pendapatan yang diperoleh oleh pemerintah dari kegiatan penambangan batu bara yang dilakukan oleh para pengusaha batu bara. Pada tahun 2011, Indonesia adalah eksportir batubara terbesar di dunia meskipun kontribusi Indonesia hanya 5% atau sebesar 353 juta ton dari total produksi batubara dunia 7,678 juta ton. Hampir 80% batubara dari total produksi batubara Indonesia dialokasikan pada pasar ekspor.

II.2. Klasifikasi Batubara

Pengklasifikasian batubara di dasarkan pada derajat dan kualitas dari batubara tersebut, yaitu :

1. *Lignite* / Brown Coal

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila

dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah.



Gambar 2.1. Batubara Lignit
Sumber : coloradogeologicalsurvey.org

2. *Sub-Bituminous* / Bitumen Menengah

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi.



Gambar 2.2. Batubara Sub Bituminus
Sumber :

3. *Bituminous*

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (brittle) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatic. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri.



Gambar 2.3. Batubara Bituminus

Sumber : ncpedia.net

4. *Anthracite*

Golongan ini berwarna hitam, keras, kilap tinggi, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.



Gambar 2.4. Batubara Antrasit

Sumber : geology.com

Kualitas batubara Indonesia didominasi oleh Batubara Kalori Sedang (66,39%), setelah itu diikuti Batubara Kalori Rendah (20,22%), Batubara Kalori Tinggi (12,43%), dan Batubara Kalori Sangat Tinggi dengan jumlah sangat kecil (0,96)

II.3. Sistem Pengeringan Batubara

II.3.1. Teori Pengeringan

Pengeringan adalah proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relative kecil dari bahan dengan menggunakan energi panas..

Tujuan dilakukannya proses pengeringan adalah untuk:

1. Memudahkan penanganan selanjutnya
2. Mengurangi biaya transportasi dan pengemasan
3. Mengawetkan bahan
4. Meningkatkan nilai guna suatu bahan atau agar dapat memberikan hasil yang baik

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Proses perpindahan panas yang terjadi adalah dengan cara konveksi serta perpindahan panas secara konduksi dan radiasi tetap terjadi dalam jumlah yang relatif kecil. Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida dengan cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan, sedangkan waktu proses pengeringannya ditetapkan dalam dua periode (Batty dan Folkman. 1984), yaitu:

1. Periode pengeringan dengan laju tetap (Constant Rate Periode)

Pada periode ini bahan-bahan yang dikeringkan memiliki kecepatan pengeringan yang konstan. Proses penguapan pada periode ini terjadi pada air tak terikat, dimana suhu pada bahan sama dengan suhu bola basah udara pengering. Periode pengeringan dengan laju tetap dapat dianggap sebagai keadaan steady.

2. Periode pengeringan dengan laju menurun (Falling Rate Periode)

Periode kedua proses pengeringan yang terjadi adalah turunnya laju pengeringan batubara ($R=0$). Pada periode ini terjadi peristiwa penguapan kandungan yang ada di dalam batubara (internal moisture).

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu panas harus diberikan pada bahan, dan air harus dikeluarkan dari bahan. Dua fenomena ini menyangkut *pindah panas* ke dalam dan *pindah massa* ke luar. Yang dimaksudkan dengan *pindah panas* adalah peristiwa perpindahan energi dari udara ke dalam bahan yang dapat menyebabkan berpindahnya sejumlah massa (kandungan air) karena gaya dorong untuk keluar dari bahan (*pindah massa*). Dalam pengeringan umumnya diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimum, oleh karena itu semua usaha dibuat untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa.

Mekanisme keluarnya air dari dalam bahan selama pengeringan adalah sebagai berikut:

1. Air bergerak melalui tekanan kapiler.
2. Penarikan air disebabkan oleh perbedaan konsentrasi larutan disetiap bagian bahan.
3. Penarikan air ke permukaan bahan disebabkan oleh absorpsi dari lapisan-lapisan permukaan komponen padatan dari bahan.
4. Perpindahan air dari bahan ke udara disebabkan oleh perbedaan tekanan uap.

Pengeringan merupakan suatu proses penghilangan kandungan air dari dalam suatu padatan dengan metode penguapan air. Tujuan dari pengeringan adalah untuk meningkatkan kualitas padatan dan mempermudah penanganan produk untuk proses selanjutnya. Namun kekurangan dari pengeringan konvensional ini adalah adanya kandungan oksigen dalam ruang pengeringan atau pada media kering yang dikontakkan dengan batubara. Kehadiran

oksigen mampu mengakibatkan terjadinya nyala api (*self ignition*) apabila pengeringan dilakukan pada suhu yang tinggi.

Self ignition ini mengakibatkan batubara terbakar atau teroksidasi, mengurangi kandungan volatile content serta karbon pada batubara sehingga dapat menurunkan nilai kalor dari batubara. Maka dari itu perlu adanya pertimbangan lebih lanjut dalam pemilihan metode pengeringan batubara agar mampu menurunkan kadar air batubara secara maksimal tanpa mengurangi nilai kalor pada batubara. Beberapa metode yang dikembangkan saat ini salah satunya adalah dengan menggunakan gas Nitrogen sebagai media pengering.

II.3.2. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam kecepatan pengeringan

Proses pengeringan suatu material padatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: luas permukaan kontak antara padatan dengan fluida panas, perbedaan temperatur antara padatan dengan fluida panas, kecepatan aliran fluida panas serta tekanan udara.

Berikut ini dijelaskan tentang faktor-faktor tersebut :

a. Luas Permukaan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

1. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar,
2. Partikel-partikel kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

b. Perbedaan Suhu dan Udara Sekitarnya

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "*Case Hardening*", yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

c. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.

d. Tekanan Udara

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

II.3.3. Metode Umum Pengeringan

Metode dan proses pengeringan dapat diklasifikasikan dalam berbagai cara yang berbeda. Proses pengeringan dapat dikelompokkan menjadi :

a. Batch

Suatu metode pengeringan dimana bahan dimasukkan ke dalam peralatan pengering dan proses pengeringan berlangsung selama periode tertentu.

b. Kontinu

Metode pengeringan dimana bahan ditambahkan secara terus-menerus ke dalam pengering dan bahan kering dipindahkan secara terus-menerus.

Di dalam Tugas Akhir saya, menggunakan metode batch. Hal tersebut dikarenakan proses pengeringan di dalam ruang palkah kapal hanya dapat dilakukan saat kapal sedang berlayar. Sedangkan untuk waktu proses pengeringan dilakukan selama 2 jam setiap hari selama pelayaran ± 12 hari. Hal ini sesuai dengan pertimbangan perhitungan waktu periode proses pengeringan batubara yang terdapat dalam Sub-bab IV.11.

II.4. Sistem Pengeringan Batubara Menggunakan Gas Nitrogen

Pengeringan merupakan proses penghilangan sejumlah air dari material. Dalam pengeringan, air dihilangkan dengan prinsip perbedaan kelembaban antara udara pengering dengan batubara yang dikeringkan. Material biasanya dikontakkan dengan udara kering yang kemudian terjadi perpindahan massa air dari material ke udara pengering.

Penanganan batubara memerlukan pengamanan, karena ada beberapa bahaya yang disebabkan dari kemampuan batubara yang dapat terbakar dengan sendirinya, serta menimbulkan ledakan. Batubara dapat mengalami *self ignition* mengalami proses yang bertahap yaitu :

- Mula-mula batubara akan menyerap oksigen dari udara secara perlahan-lahan dan kemudian temperatur batubara akan naik.
- Karena temperatur naik, kecepatan batubara menyerap oksigen dari udara bertambah dan temperatur kemudian mencapai 100-140°C.

- Setelah mencapai temperatur 140°C, uap dan CO₂ akan terbentuk sampai temperatur 230°C isolasi CO₂ akan berlanjut.
- Bila temperatur diatas 350°C, berarti batubara sudah mencapai titik sulutnya dan akan cepat terbakar.

Pada proses pengeringan ini, metode yang digunakan yaitu *Constant-Rate Drying* dengan rumus sebagai berikut :

$$R_c = \frac{h}{\lambda_w} (T_n - T_u)(3600)$$

Dimana :

Rc : *the rate of drying* (kg H₂O/h)
 h : *heat transfer coefficient* (W/m²•K)
 λ_w : kalor laten batubara (J/kg)
 T_n : temperatur gas nitrogen (K)
 T_u : temperatur udara (K)

Pada sistem pengeringan batubara ini dibutuhkan estimasi waktu pengeringan selama periode *constant-rate drying* dengan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{L_s}{A \times R_c} (X_1 - X_2)$$

Dimana :

t : waktu pengeringan batubara (jam)
 L_s : massa batubara kering (kg)
 A : luasan ruang palkah kapal (m²)
 R_c : *the rate of drying*
 X₁ : *moisture content* awal batubara

X_2 : *moisture content* akhir batubara

II.5. Low Heating Value (LHV) dan High Heating Value (HHV)

Kadar energi atau nilai suatu pembakaran batubara adalah suatu sifat yang penting. Nilai pembakaran menunjukkan jumlah energi kimia yang terdapat dalam suatu massa atau volume bahan bakar. Nilai Panas (Nilai Pembakaran) atau HV (*Heating Value*) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat H_2O dalam bentuk uap atau cairan. Dengan demikian nilai pembakaran bila H_2O yang terbentuk berupa uap akan lebih kecil bila dibandingkan dengan H_2O yang terbentuk sebagai cairan. Berarti ada 2 macam Nilai Pembakaran yaitu Nilai Pembakaran Atas (NPA) atau HHV dan Nilai Pembakaran Bawah (NPB) atau LHV.

1. NPA atau HHV adalah :

Yaitu Nilai Pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H_2O berebentuk cairan

2. NPB atau LHV adalah:

Yaitu Nilai Pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H_2O berbentuk gas.

Nilai kalori merupakan nilai panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna suatu zat pada suhu tertentu.

Reaksi pembakaran sempurna hydrocarbon seperti ini:



Rumus Dulong & Petit untuk menghitung Nilai Panas

$$HHV = 33950 (C) + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S$$

(Prinsip Prinsip Konversi Energi)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2) kJ/kg$$

(Prinsip Prinsip Konversi Energi)

Dimana :

C = persentase unsure *Carbon*.

H ₂	= persentase unsure Hidrogen.
S	= persentase unsure Sulfur.
O ₂	= persentase unsure Oksigen.
M	= <i>Moisture</i> (kebasahan)

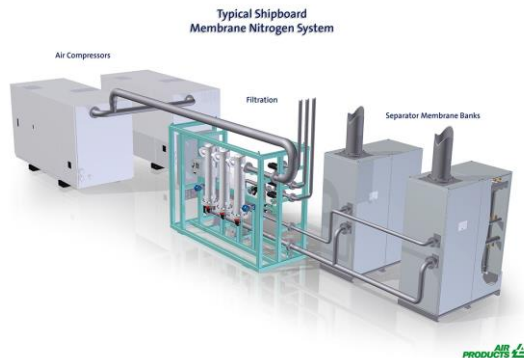
II.6. Prinsip Kerja Generator Nitrogen

Generator Nitrogen merupakan sebuah sistem pembangkit yang mengambil udara dari kompresor kemudian akan menghasilkan gas Nitrogen murni. Merk dari generator yang digunakan untuk desain sistem ini yaitu *Air Products' PRISM* yang berasal dari Norway, Amerika Serikat. Generator ini sudah memiliki standart DNV-GL dimana DNV Tipe A disetujui memenuhi menuntut standar laut internasional. Sistem pembangkit unik ini memiliki keunggulan lebih cepat panas dan memberikan nitrogen cepat secara otomatis menyesuaikan kemurnian bahkan dengan tekanan pakan inlet variabel. Desain modular membuat instalasi mudah dan komponen internal dilindungi oleh pelindung yang kasar dan aman. Selain itu, cara pemakaiannya sangat mudah karena koneksi antar panel diletakkan di tempat yang mudah untuk pengoperasian. Karena sistem yang otomatis, maka terdapat alarm untuk mengetahui *Time Repairing* rutin yang harus dilakukan serta memberikan layanan akses secara instan untuk pelayanan perbaikan atau pemesanan beberapa komponen yang rusak.

Di dalam generator tersebut terdapat membran yang berfungsi untuk menyaring udara sehingga outletnya hanya berupa Gas Nitrogen. Pemisah membran PRISM PA digunakan untuk menghasilkan nitrogen kemurnian tinggi dari udara terkompresi. Ini pemisah kuat dan tahan lama menggunakan teknologi membran serat berongga untuk molekuler nitrogen terpisah dari komponen lain di udara terkompresi. Arus yang dihasilkan nitrogen murni, kering, dan siap untuk digunakan dalam aplikasi industri.

Teknologi perembesan selektif menggunakan sistem pasif tanpa ada bagian yang bergerak. Sistem sederhana ini dapat digunakan dalam berbagai lingkungan, termasuk sistem *mobile*. Pemisah membran PRISM mudah digunakan. Hanya menerapkan

kompresi udara bersih, dan produksi dimulai. Tidak ada istirahat dalam satu periode, media dengan harga yang murah, atau peralatan yang kompleks mudah untuk dikelola dan dipelihara. Pemisah membran PRISM PA dibangun dari standart ABS atau 6061/6063 aluminium, yang membuat mereka sangat ringan. Separator mudah ditangani oleh satu orang, membuat instalasi dan layanan lapangan lebih sederhana.

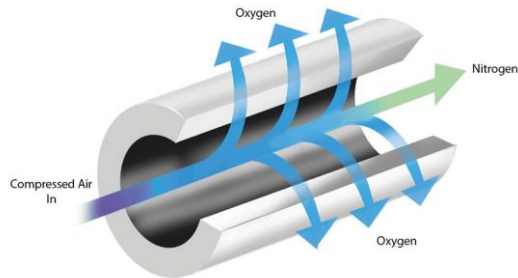


Gambar 2.5. Rangkaian dari Generator Nitrogen

Sumber : Project Guide Air Products'

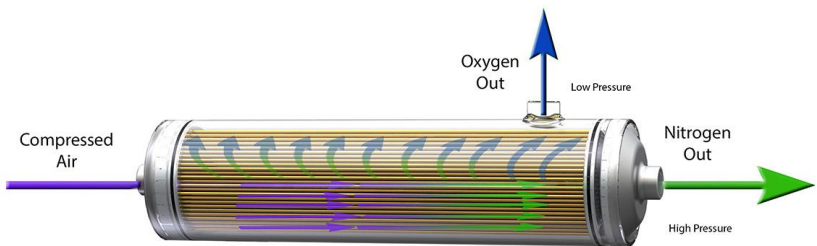
II.6.1. Cara Kerja Membran dari Generator Nitrogen

Pemisah membran nitrogen PRISM PA menggunakan teknologi membran serat berongga asimetris untuk memisahkan dan memulihkan nitrogen dari udara terkompresi. Udara atmosfer mengandung 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1 % gas-gas lain. Membran PRISM PA menggunakan prinsip perembesan selektif untuk menghasilkan nitrogen kemurnian tinggi. Setiap gas memiliki tingkat permeasi karakteristik, yang merupakan fungsi dari kemampuannya untuk melarutkan dan menyebar melalui membran. Oksigen adalah gas "cepat" dan selektif menyebar melalui dinding membran, sementara nitrogen masuk di sepanjang bagian dalam serat, sehingga menciptakan arus produk kaya nitrogen. Gas yang kaya oksigen, vented dari pemisah membran pada tekanan atmosfer. Kekuatan pendorong untuk pemisahan adalah perbedaan antara tekanan parsial gas pada bagian dalam serat berongga dan di luar.



Gambar 2.6. Aliran Gas di dalam Membran Pemisah
Sumber : Air Products'

Dalam pemisah membran PRISM PA, udara terkompresi mengalir turun bagian dalam serat berongga. Gas oksigen, karbon dioksida, dan uap udara dan sejumlah kecil gas lambat, melewati dinding membran ke luar dari serat. Gas tersebut dikumpulkan pada tekanan atmosfer sebagai permeat. Sebagian besar gas lambat dan jumlah yang sangat kecil dari gas cepat terus perjalanan melalui serat sampai mereka mencapai akhir pemisah membran, dimana gas nitrogen produk disalurkan ke aplikasi.



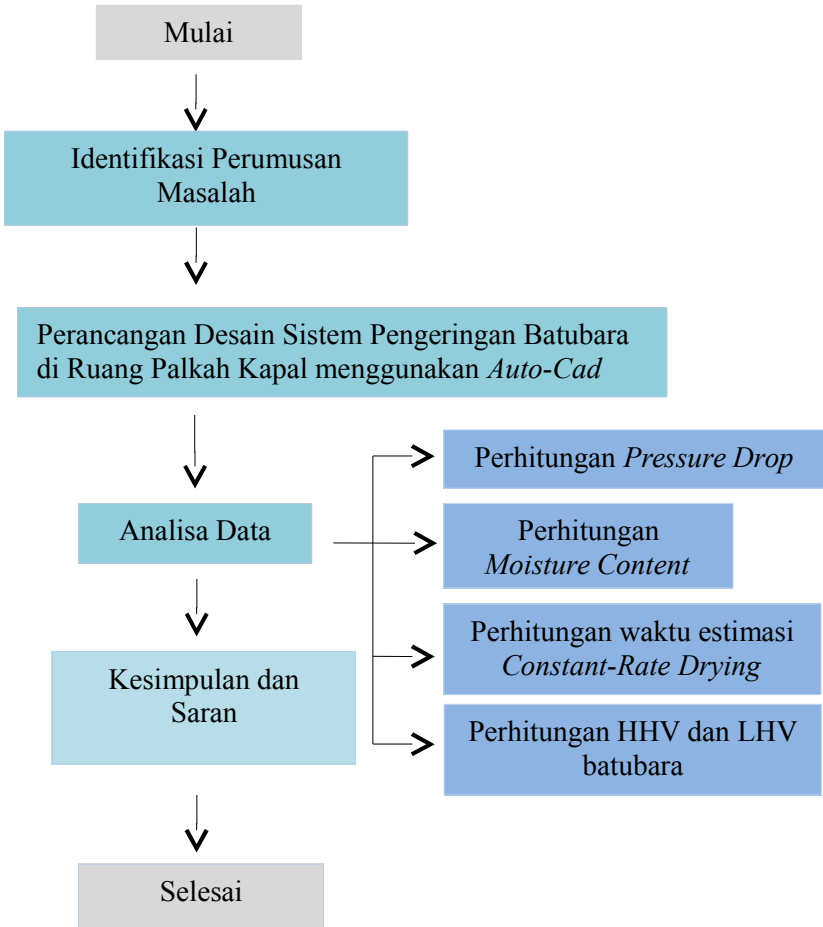
Gambar 2.7. Aliran Gas di dalam Separator
Sumber : Air Products'

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 *Flowchart*

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metodologi seperti pada *flowchart* di bawah ini:



III.2 Deskripsi Flowchart

Dalam pembuatan tugas akhir ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Secara umum metodologi pada tugas akhir ini terdiri dari perhitungan dan perancangan sistem untuk sistem pengeringan batubara di ruang palkah kapal menggunakan gas nitrogen. Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Mengidentifikasi permasalahan yang terjadi untuk menentukan perumusan masalah apa saja yang akan diambil. Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan tugas akhir. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam tugas akhir. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa tugas akhir ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah bagaimana cara untuk meningkatkan nilai kalor batubara dan menjamin keselamatan kapal batubara selama pelayaran.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berupa informasi mengenai data kapal Bulk Carrier dengan muatan batubara MV. KARTIKA JAYA COAL yang akan digunakan sebagai obyek penelitian, meliputi gambar rencana umum beserta gambar sistem.

3. Perancangan Desain Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem yang sesuai untuk sistem pengeringan batubara di ruang palkah

kapal. Sistem pengeringan yang akan dibuat untuk sistem distribusi aliran gas Nitrogen terkait P&ID dari sistem yang di rancang, di rencanakan dengan mengacu pada aspek-aspek tertentu, misalnya teknis, *safety* dan *reability*.

4. Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa data dari sistem pengeringan batubara yang telah dibuat. Analisa yang dilakukan yaitu perhitungan *pressure drop* dari sistem distribusi aliran nitrogen pada ruangan palkah terbesar, perhitungan moisture content setelah proses pengeringan, dan perhitungan waktu estimasi dari proses pengeringan metode *constant-rate*.

5. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Saran-saran diberikan berdasarkan hasil dari analisis yang dapat dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada penelitian ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1. Data Kapal

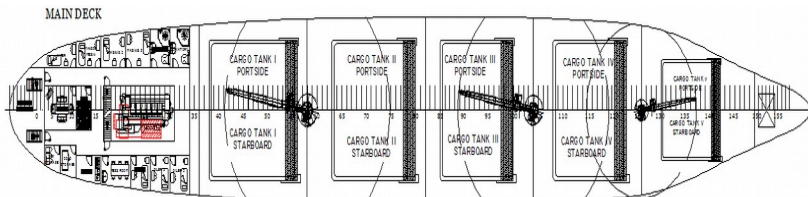
Data MV. KARTIKA JAYA COAL:

Tipe	= Bulk Carrier
Loa	= 114 m
Lpp	= 110 m
B	= 17 m
H	= 9 m
T	= 7 m
Vs	= 12,8 knot
DWT	= 5199 ton
Crew	= 21 orang
Jenis muatan	= Batubara Sub Bituminus

Main Engine :

Model	: WARTSILA
Tipe	: 6L32
<i>Quantity</i>	: 1
<i>Rated Power</i>	: 3000 kW
<i>Rated Rev.</i>	: 750 r/min

IV.2. Volume Ruang Palkah Kapal



Gambar 4.1. Main Deck MV. KARTIKA JAYA COAL

Volume Ruang Palkah

- Volume *Cargo Tank I* = 1561,121 m³
- Volume *Cargo Tank II* = 2110,879 m³
- Volume *Cargo Tank III* = 2106,245 m³
- Volume *Cargo Tank IV* = 1820,847 m³
- Volume *Cargo Tank V* = 1017,521 m³

IV.3. Perhitungan Massa Batubara pada Ruang Palkah

Untuk mengetahui berat pada ruang palkah, maka rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$m = \rho \times V$$

keterangan :

m : Massa (kg)

ρ : Massa jenis (kg/m³) untuk batubara sebesar 673 kg/m³

V : Volume dari tiap-tiap tangki kargo (m³)

- Massa batubara pada Cargo Tank I (Portside & Starboard)

$$\begin{aligned} m &= \rho \times V \\ &= 673 \times 1561,121 \\ &= 525.317,216 \text{ kg} \\ &= 525,31 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Massa batubara pada Cargo Tank II (Portside & Starboard)
 $m = \rho \times V$
 $= 673 \times 2110,879$
 $= 710.310,78 \text{ kg}$
 $= 710,31 \text{ ton}$
- Massa batubara pada Cargo Tank III (Portside & Starboard)
 $m = \rho \times V$
 $= 673 \times 2106,245$
 $= 708.751,44 \text{ kg}$
 $= 708,75 \text{ ton}$
- Massa batubara pada Cargo Tank IV (Portside & Starboard)
 $m = \rho \times V$
 $= 673 \times 1820,847$
 $= 612.715,01 \text{ kg}$
 $= 612,7 \text{ ton}$
- Massa batubara pada Cargo Tank V (Portside & Starboard)
 $m = \rho \times V$
 $= 673 \times 1017,521$
 $= 342.395,81 \text{ kg}$
 $= 342,39 \text{ ton}$

IV.4. Perhitungan *Humidity* dan *Relative Humidity*

Kelembaban merupakan suatu tingkat keadaan lingkungan udara basah yang disebabkan oleh adanya uap air. Tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Persentase dari Humidity didefinisikan sebagai 100% dari actual Humidity udara dibagi dengan Humidity udara dimana dalam keadaan jenuh pada temperatur yang sama.

$$Hp = 100 \frac{H}{Hs}$$

Menentukan nilai *Humidity* dan *Relative Humidity* di Ruang Palkah dalam temperatur 35°C

Diketahui :

$$P = 101,3 \text{ kPa}$$

$$P_a = 5,527 \text{ kPa (partial pressure)}$$

$$P_{as} = 5,626 \text{ kPa (vapor pressure)}$$

Penyelesaian :

1. Menentukan nilai H dan Hs

$$H = \frac{18,02}{28,97} \frac{P_a}{P - P_a}$$

$$H = \frac{18,02}{28,97} \frac{5,527}{101,3 - 5,527} = 0,035 \text{ kg } H_2O / \text{kg udara}$$

$$H_s = \frac{18,02}{28,97} \frac{P_{as}}{P - P_{as}}$$

$$H_s = \frac{18,02}{28,97} \frac{5,626}{101,3 - 5,626} = 0,036 \text{ kg } H_2O / \text{kg udara}$$

2. Menentukan Nilai %H dan %RH

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

$$\hookrightarrow 100 \frac{0,035}{0,036} = 97,2$$

$$RH = 100 \frac{Pa}{Pas}$$

$$\hookrightarrow 100 \frac{5,527}{5,626} = 98,2$$

Dari hasil tersebut dapat diartikan bahwa dengan temperatur 35°C, Humidity di dalam ruang palkah bersifat lembab.

Menentukan nilai *Humidity* dan *Relative Humidity* Gas Nitrogen di Ruang Palkah dalam temperatur 55°C

Diketahui :

$$P = 101,3 \text{ kPa}$$

$$Pa = 1,3 \text{ kPa (partial pressure)}$$

$$Pas = 1,8 \text{ kPa (vapor pressure)}$$

Penyelesaian :

1. Menentukan nilai H dan Hs

$$H = \frac{18,02}{28,97} \frac{Pa}{P - Pa}$$

$$H = \frac{18,02}{28,97} \frac{1,3}{101,3 - 1,3} = 0,008 \text{ kg } N_2 / \text{kg udara}$$

$$H_s = \frac{18,02}{28,97} \frac{P_{as}}{P - P_{as}}$$

$$H_s = \frac{18,02}{28,97} \frac{1,8}{101,3 - 1,8} = 0,011 \text{ kg } N_2 / \text{kg udara}$$

2. Menentukan Nilai %H dan %RH

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

$$\hookrightarrow 100 \frac{0,008}{0,011} = 72,7$$

$$RH = 100 \frac{P_a}{P_{as}}$$

$$\hookrightarrow 100 \frac{1,3}{1,8} = 72,2$$

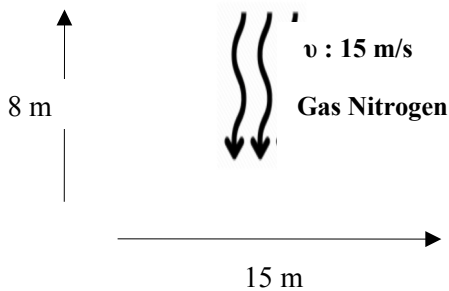
Dari hasil tersebut dapat diartikan bahwa dengan temperatur 35°C, Humidity Gas Nitrogen di dalam ruang palkah bersifat cenderung kering.



IV.5. Perhitungan Nilai Koefisien Transfer Pengeringan untuk Periode *Constant-Rate Drying*

Untuk Ruang Palkah I

Diketahui :



Gambar 4.2. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah I

Temperatur gas Nitrogen : 55°C (T_n)

Humidity Gas Nitrogen : $0,008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$ (H_n)

Temperatur Ruang Palkah : 35°C (T_u)

Humidity Ruang Palkah : 0,035 kg H₂O/kg udara kering (H_u)

Penyelesaian

1. Menghitung Volume Kelembaban

$$v_H = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H_n) T_n$$

$$= (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} \times 0,008) (55 + 273 \text{ K})$$

$$= 12,89 \text{ m}^3 / \text{kg gas nitrogen kering}$$

2. Menghitung *density* untuk 1 kg Gas Nitrogen kering + 0,008 kg N₂

$$\rho = \frac{1,0 + 0,008}{12,89} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$G = v \times \rho = 15 \times 0,078 \times 3600 = 4212 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

4. Menghitung nilai h (*heat transfer coefficient*)

$$h = 0,0204 G^{0,8}$$

$$h = 0,0204 \times 4212^{0,8} = 16,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$Rc = \frac{h}{\lambda_w} (T_n - T_u) (3600)$$

$$R_c = \frac{16,18}{20000} (55 - 35) (3600)$$

$$R_c = 58,2$$

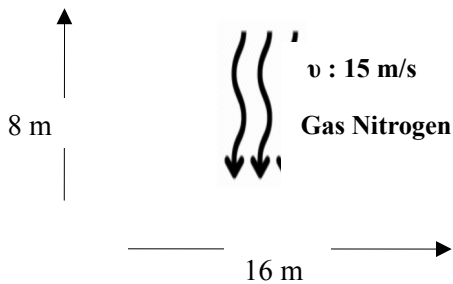
Tingkat penguapan total untuk area permukaan batubara di Ruang Palkah I

$$R_c A_1 = 58,2 (15 \times 8 \text{ m})$$

$$R_c A_1 = 6989,76 \text{ kg } H_2O/h$$

Untuk Ruang Palkah II

Diketahui :



Gambar 4.3. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah II

Temperatur gas Nitrogen : 55°C (T_n)

Humidity Gas Nitrogen : $0,008 \text{ kg N}_2/\text{kg udara kering}$ (H_n)

Temperatur Ruang Palkah : 35°C (T_u)

Humidity Ruang Palkah : $0,035 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg udara kering}$ (H_u)

Penyelesaian

1. Menghitung Volume Kelembaban

$$v_H = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H_n) T_n$$

$$= (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} \times 0,008) (55 + 273 \text{ K})$$

$$= 12,89 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}$$

2. Menghitung *density* untuk 1 kg Gas Nitrogen kering + 0,008 kg N_2

$$\rho = \frac{1,0 + 0,008}{12,89} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$G = v \times \rho = 15 \times 0,078 \times 3600 = 4212 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

4. Menghitung nilai h (*heat transfer coefficient*)

$$h = 0,0204 G^{0,8}$$

$$h = 0,0204 \times 4212^{0,8} = 16,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5. Menghitung nilai R_c (*The Rate of Drying*)

$$Rc = \frac{h}{\lambda_w} (T_n - T_u) (3600)$$

$$Rc = \frac{16,18}{20000} (55 - 35) (3600)$$

$$Rc = 58,248 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

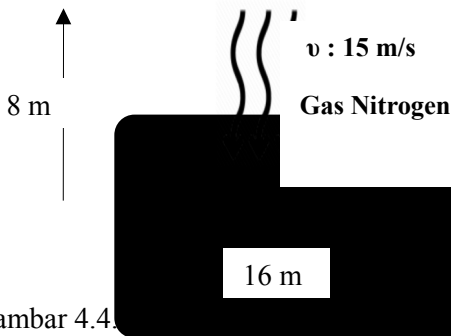
Tingkat penguapan total untuk area permukaan batubara di Ruang Palkah II

$$\text{Total rate} = R_c B = 58,248 (16 \times 8 \text{ m})$$

$$R_c A_2 = 7455,74 \text{ kg } H_2O/h$$

Untuk Ruang Palkah III

Diketahui :



Gambar 4.4. Ruang Palkah III

Temperatur gas Nitrogen : 55°C (T_n)

Humidity Gas Nitrogen : $0,008 \text{ kg } N_2/\text{kg}$ udara kering (H_n)

Temperatur Ruang Palkah : 35°C (T_u)

Humidity Ruang Palkah : $0,035 \text{ kg } H_2O/\text{kg}$ udara kering (H_u)

Penyelesaian

1. Menghitung Volume Kelembaban

$$v_H = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H_n) T_n$$

$$= (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} \times 0,008) (55 + 273 \text{ K})$$

$$= 12,89 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}$$

2. Menghitung *density* untuk 1 kg Gas Nitrogen kering + 0,008 kg N₂

$$\rho = \frac{1,0 + 0,008}{12,89} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$G = v \times \rho = 15 \times 0,078 \times 3600 = 4212 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

4. Menghitung nilai h (*heat transfer coefficient*)

$$h = 0,0204 G^{0,8}$$

$$h = 0,0204 \times 4212^{0,8} = 16,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$Rc = \frac{h}{\lambda_w} (T_n - T_u) (3600)$$

$$Rc = \frac{16,18}{20000} (55 - 35) (3600)$$

$$R_c = 58,248 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

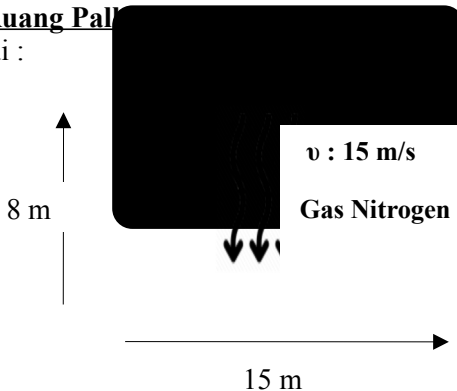
Tingkat penguapan total untuk area permukaan batubara di Ruang Palkah III

$$\text{Total rate} = R_c C = 58,248 (16 \times 8 \text{ m})$$

$$R_c A_3 = 7455,74 \text{ kg H}_2\text{O/h}$$

Untuk Ruang Palkah IV

Diketahui :



Gambar 4.5. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah IV

Temperatur gas Nitrogen : 55°C (T_n)

Humidity Gas Nitrogen : $0,008 \text{ kg N}_2/\text{kg}$ udara kering (H_n)

Temperatur Ruang Palkah : 35°C (T_u)

Humidity Ruang Palkah : $0,035 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$ udara kering (H_u)

Penyelesaian

1. Menghitung Volume Kelembaban

$$v_H = \left(2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H_n \right) T_n$$

$$\dot{V} (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} \times 0,008) (55 + 273 \text{ K})$$

$$\dot{V} 12,89 \text{ m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}$$

2. Menghitung *density* untuk 1 kg Gas Nitrogen kering + 0,008 kg N₂

$$\rho = \frac{1,0 + 0,008}{12,89} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$G = v \times \rho = 15 \times 0,078 \times 3600 = 4212 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

4. Menghitung nilai h (*heat transfer coefficient*)

$$h = 0,0204 G^{0,8}$$

$$h = 0,0204 \times 4212^{0,8} = 16,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$Rc = \frac{h}{\lambda_w} (T_n - T_u) (3600)$$

$$Rc = \frac{16,18}{20000} (55 - 35) (3600)$$

$$Rc = 58,248 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

Tingkat penguapan total untuk area permukaan batubara di Ruang Palkah IV

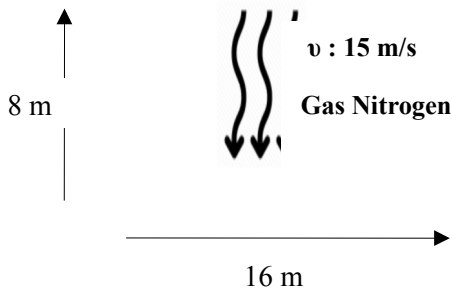
$$\text{Total rate} = R_c D = 58,248 (15 \times 8 \text{ m})$$

$$R_c A_4 = 6099,76 \text{ kg H}_2\text{O/h}$$



Untuk Ruang Palkah V

Diketahui :



Gambar 4.6. Proses Pengeringan untuk Ruang Palkah V

Temperatur gas Nitrogen : 55°C (T_n)

Humidity Gas Nitrogen : $0,008 \text{ kg N}_2/\text{kg}$ udara kering (H_n)

Temperatur Ruang Palkah : 35°C (T_u)

Humidity Ruang Palkah : $0,035 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg}$ udara kering (H_u)

Penyelesaian

1. Menghitung Volume Kelembaban

$$v_H = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H_n) T_n$$

$$i (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} \times 0,008) (55 + 273 \text{ K})$$

$$i \text{ 12,89 m}^3/\text{kg gas nitrogen kering}$$

2. Menghitung *density* untuk 1 kg Gas Nitrogen kering + 0,008 kg N₂

$$\rho = \frac{1,0 + 0,008}{12,89} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

3. Menghitung kecepatan massa (G)

$$G = v \times \rho = 15 \times 0,078 \times 3600 = 4212 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

4. Menghitung nilai h (*heat transfer coeeficient*)

$$h = 0,0204 G^{0,8}$$

$$h = 0,0204 \times 4212^{0,8} = 16,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5. Menghitung nilai Rc (*The Rate of Drying*)

$$Rc = \frac{h}{\lambda_w} (T_n - T_u) (3600)$$

$$Rc = \frac{16,18}{20000} (55 - 35) (3600)$$

$$Rc = 58,248 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

Tingkat penguapan total untuk area permukaan batubara di Ruang Palkah V

$$Total\ rate = R_C E = 58,248 (16 \times 8\ m)$$

$$R_C A_5 = 7455,74\ kg\ H_2O/h$$

IV.6. Perhitungan Moisture Content Setelah Proses Pengeringan

Setelah proses pengeringan batubara menggunakan Gas Nitrogen maka akan diketahui hasil akhir nilai *moisture content* dari batubara Sub-Bituminus. Nilai moisture content awal yaitu 30% sesuai dengan Tabel 3.3. Spesifikasi Batubara

➤ *Moisture Content* pada Ruang Palkah I

Massa kering batubara : 525.317,216 kg

Massa basah batubara : 30% dari massa kering batubara

: 157.595,1648 kg

$$MC\ setela\ h\ pengeringan = \frac{total\ rate\ drying}{kg\ moisture\ sebelum\ pengeringan} \times 100$$

$$MC\ setela\ h\ pengeringan = \frac{6989,76}{157.595,16} \times 100 = 4,4$$

➤ *Moisture Content* pada Ruang Palkah II

Massa kering batubara : 710.310,78 kg

Massa basah batubara : 30% dari massa kering batubara

: 213.093,234 kg

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{7455,74}{213.093,234} \times 100 = 3,4$$

➤ **Moisture Content pada Ruang Palkah III**

Massa kering batubara : 708.751,44 kg

Massa basah batubara : 30% dari massa kering batubara

: 212.625,43 kg

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{7455,74}{212.625,43} \times 100 = 3,5$$

➤ **Moisture Content pada Ruang Palkah IV**

Massa kering batubara : 612.715,01 kg

Massa basah batubara : 30% dari massa kering batubara

: 183.814,50 kg

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{6989,76}{183.814,50} \times 100 = 3,8$$

➤ ***Moisture Content* pada Ruang Palkah V**

Massa kering batubara : 342.395,81 kg

Massa basah batubara : 30% dari massa kering batubara

: 102.718,74 kg

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{\text{total rate drying}}{\text{kg moisture sebelum pengeringan}} \times 100$$

$$MC \text{ setelah pengeringan} = \frac{7455,74}{102.718,74} \times 100 = 7,2$$

Dari hasil perhitungan *Moisture Content* akhir setelah proses pengeringan, nilai yang didapatkan $\leq 7,2\%$. Hal tersebut berarti Gas Nitrogen sangat bermanfaat dalam menurunkan kadar air dari batubara. Selain itu, perhitungan ini juga dipengaruhi oleh jumlah massa batubara dari tiap ruang palkah beserta nilai total tingkat penguapan dari batubara.

IV.7. Perhitungan Waktu Periode yang Dibutuhkan Untuk Proses Pengeringan Batubara

Pada sistem pengeringan batubara ini dibutuhkan estimasi waktu pengeringan selama periode *constant-rate drying* dengan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{L_s}{A \times R_c} (X_1 - X_2)$$

Dimana :

t : waktu pengeringan batubara (jam)

L_s : massa batubara kering (kg)

A : luasan ruang palkah kapal (m^2)

R_c : *the rate of drying*

X_1 : *moisture content* awal batubara

X_2 : *moisture content* akhir batubara

Di dalam perhitungan ini, nilai L_s diambil dari nilai massa terbesar dari Ruang Palkah yaitu massa batubara yang terdapat di Ruang Palkah II. Oleh karena itu untuk mengestimasi lama pengeringan batubara didapatkan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui:

L_s : 710.310,78 kg

$R_c A_s$: 7455,74 kg H_2O/h

X_1 : 0,30

X_2 : 0,034

Sehingga,

$$t = \frac{L_s}{A \times R_c} (X_1 - X_2)$$

$$t = \frac{710.310,78}{7455,74} (0,30 - 0,034) = 25,2 \text{ jam}$$

Jadi, waktu terlalu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan ini pada periode *constant- rate drying* adalah 25,2 jam atau sekitar 25 jam.

IV.8. Perhitungan Nilai Panas (*Heating Value*) Batubara

Nilai Panas (Nilai Pembakaran) atau HV (*Heating Value*) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat H₂O dalam bentuk uap atau cairan. Dengan demikian nilai pembakaran bila H₂O yang terbentuk berupa uap akan lebih kecil bila dibandingkan dengan H₂O yang terbentuk sebagai cairan.

Rumus Dulong & Petit untuk menghitung Nilai Panas

$$HHV = 33950(C) + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S$$

(Prinsip Prinsip Konversi Energi)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9 H_2) \text{ kJ/kg}$$

(Prinsip Prinsip Konversi Energi)

Dimana :

C = persentase unsure *Carbon*.

H₂ = persentase unsure Hidrogen.

S = persentase unsure Sulfur.
 O₂ = persentase unsure Oksigen.
 M = *Moisture* (kebasahan)

Pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan HHV dan LHV berfungsi untuk mengetahui nilai panas sebelum dan sesudah proses pengeringan. Berikut ini perhitungan LHV dan HHV :

Diketahui :

C = 63,9%
 H₂ = 5,2%
 S = 0,8%
 O₂ = 28,5%
 M = 30% (sebelum proses pengeringan)

Sehingga,

$$\begin{aligned} HHV &= 33950(0,639) + 144200 \left(0,052 - \frac{0,285}{8} \right) + 9400(0,008) \\ &= 24130,525 \text{ kJ/kg} \\ &= 5767,33 \text{ kCal/kg} \end{aligned}$$

LHV pada M = 30%

$$LHV = HHV - 2400(M + 9 H_2) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 24130,525 - 2400(0,30 + 9 \times 0,052)$$

$$LHV = 22287,325 \text{ kJ/kg} = 5326,33 \text{ kCal/kg}$$

LHV pada M = 3,4%

(kondisi pada batubara dengan perubahan nilai *Moisture Content* terkecil dengan massa batubara terbesar di Ruang Palkah II)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9 H_2) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 24130,525 - 2400(0,034 + 9 \times 0,52)$$

$$LHV = 22925,725 \text{ kJ/kg} = 5479,37 \text{ kCal/kg}$$

LHV pada M = 7,2%

(kondisi pada batubara dengan perubahan nilai *Moisture Content* terbesar dengan massa batubara terkecil di Ruang Palkah V)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9 H_2) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 24130,525 - 2400(0,072 + 9 \times 0,52)$$

$$LHV = 22834,525 \text{ kJ/kg} = 5457,58 \text{ kCal/kg}$$

Dari perhitungan HHV dan LHV, maka nilai yang didapatkan yaitu HHV = 5767,33 kCal/kg sedangkan untuk nilai LHV dari 3 *moisture content* yang berbeda yaitu MC 30% LHV : 5326,33 kCal/kg, MC 3,4% LHV : 5479,37 kCal/kg, dan MC 7,2% LHV : 5457,58 kCal/kg.

IV.9. Perhitungan Diameter Pipa Sistem Aliran Gas Nitrogen

Volume Ruang Palkah = 256 m³ (merupakan volume ruang palkah terbesar)

Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan gas Nitrogen = 2 jam = 1200 menit

Kecepatan fluida gas = 15 m/s

Kapasitas yang dibutuhkan untuk menampung Gas Nitrogen

$$Q = \frac{\text{volume ruang palkah}}{\text{waktu}}$$

$$i \frac{256 m^3}{1200} = 128 m^3/h = 0,03556 m^3/s$$

Diameter pipa (Ds)

$$Ds = \sqrt{\frac{(4 \times Q)}{\pi \times V}} = 0,05495 \text{ m} = 54,9507 \text{ mm}$$

Pemilihan Spesifikasi Pipa

Type : ASTM B819

Diameter Dalam : 61,8 mm

Diameter Luar : 66,7 mm

Ketebalan : 2,41 mm

Material : Copper

(2014, Copper Guide Specification)



Gambar 4.7. *Copper Pipe*

Sumber : bestofpicture.com

IV.10. Perhitungan *Pressure Drop* dari Sistem Distribusi Gas Nitrogen

Dalam proses distribusi gas nitrogen melalui sistem perpipaan akan mengalami interaksi dengan permukaan pipa. Material yang digunakan untuk pipa ini yaitu Copper. Akibat kekasaran tersebut akan menyebabkan losses yang berakibat pada tekanan kerja sistem tersebut. Losses ini dinamakan *pressure drop*.

IV.10.1. Perhitungan *Reynold Number*

$$R = \frac{D \times V}{\nu}$$

$$= \frac{0,05495 \text{ m} \times 15 \text{ m/s}}{0,0011 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 866$$

Apabila $R_n < 2300$ merupakan aliran Laminar. Apabila $R_n > 2300$ merupakan Aliran Turbulen. Untuk hasil berikut diatas nilai $R_n = 910$ sehingga aliran fluida yang mengalir berupa aliran Laminar.

IV.10.2. Perhitungan Faktor Gesekan (*f*)

Faktor gesekan adalah suatu fungsi dari Bilangan *Reynold* dan kekasaran relatif (*relative roughness*) permukaan pipa. Karena nilai R_n merupakan aliran Laminar sehingga rumus yang digunakan yaitu:

$$f = \frac{64}{R_n}$$

$$f \frac{64}{866} = 0,07$$

Jadi, hasil dari rumus faktor gesekan yaitu 0,07.

IV.10.3. Perhitungan *Pressure Drop*

Perhitungan pressure drop dilakukan untuk mengetahui berapa kerugian yang terjadi di sepanjang pipa menuju tiap ruang palkah kapal. Persamaan dasar yang digunakan yaitu :

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \rho$$

Dimana :

- ΔP : penurunan tekanan (Pa)
- f : faktor gesekan
- L : panjang pipa (m)
- D : diameter dalam pipa (m)
- V : kecepatan gas nitrogen (m/s)
- ρ : massa jenis nitrogen (kg/m^3)

diketahui :

- L : 72 m
- D : 0,5495 m
- V : 15 m/s
- ρ : 0,078 kg/m^3

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \rho$$

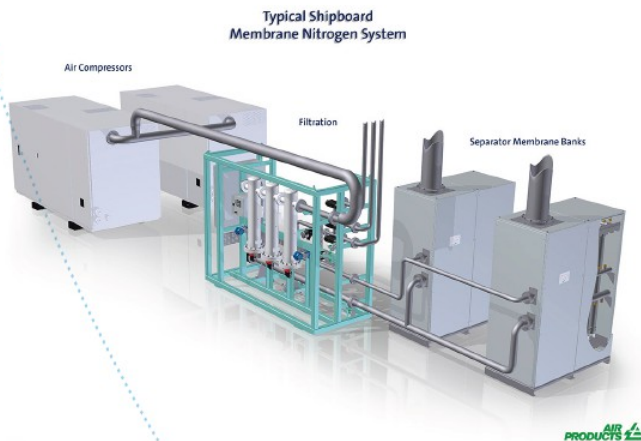
$$\Delta P = 0,07 \frac{72}{0,05495} \frac{15^2}{2} 0,078$$

$$\Delta P = 804,84076 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0,0080484 \text{ bar}$$

Jadi, hasil dari *pressure drop* dari perpipaan sistem distribusi gas nitrogen di ruang palkah kapal yaitu 0,0080484 bar atau dapat diartikan tidak terdapat *losses*.

IV.11. Spesifikasi Generator Nitrogen



Gambar 4.8. Rangkaian dari Generator Nitrogen

Sumber : Project Guide Air Products'

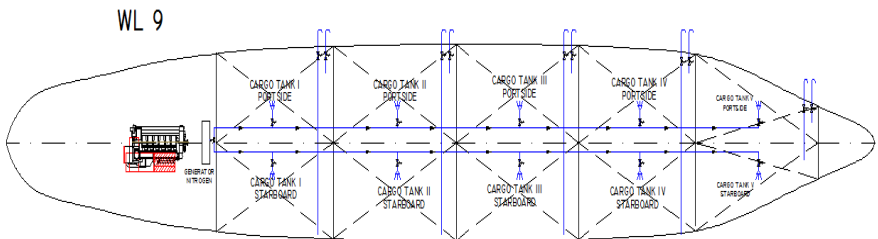
Merk	: Air Products Marine System
Type	: NC 2.0 Shipboard Nitrogen System
Kapasitas	: 420 - 6000 m ³ /h
Power Consumption	: 7,0 – 7,5 kW
Inlet Pressure	: 5 – 13 bar
Outlet Pressure	: ≤ 10 bar
Dimensi	: Panjang : 3000 mm
	Lebar : 1100 mm

Tinggi : 2360 mm
Flag Connections : DIN / JIS Standart

Generator ini dipilih karena sesuai dengan jumlah Debit dari masing-masing kebutuhan Gas Nitrogen pada ruang palkah kapal yaitu 1248 m³/h. Oleh karena itu, generator yang dipilih yaitu NC 2.0 *Shipboard Nitrogen System* dengan kapasitas 420 - 6000 m³/h.

IV.12. Desain Keyplan

Desain keyplan disesuaikan dengan *General Arrangement* dari MV. KARTIKA JAYA COAL.



Gambar 4.9. *Keyplan* Sistem Distribusi Aliran Gas Nitrogen MV.KARTIKA JAYA COAL

Pada sistem distribusi gas nitrogen untuk proses pengeringan batubara diawali dari supply gas nitrogen yang berasal dari Generator Nitrogen. Udara diambil dari kompressor kemudian dipisahkan oleh membran yang terdapat dalam Generator Nitrogen. Udara yang pada awalnya terdiri dari oksigen, CO₂ maupun nitrogen akan disaring sampai yang keluar dari generator nitrogen berupa gas nitrogen murni. Setelah itu gas nitrogen akan melewati pipa dan sampai pada ruang palkah kapal. Material dari pipa yaitu Copper. Waktu yang dibutuhkan untuk dilakukan proses pengeringan adalah 25 jam. Lama pelayaran dari MV. Kartika Jaya Coal yaitu ±12 hari, sehingga proses pengeringan batubara dalam ruang palkah dilakukan tiap 2 jam per hari. Gas nitrogen yang

masuk ke dalam ruang palkah akan ditampung dulu di dalam ruang palkah sampai tekanan ruang palkah mencapai 3 bar. Kemudian gas nitrogen akan keluar secara otomatis melalui katup yang terpasang pada *vent pipe* tiap ruang palkah batubara.

LAMPIRAN

Tabel 4.1. Spesifikasi Pipa (1)


 B 819 – 00 (2006)

TABLE 1 Dimensions, Mass, and Tolerances In Diameter and Wall Thickness for Nominal or Standard Copper Water Tube Sizes.
(All tolerances are plus and minus except as otherwise indicated)

Nominal or Standard Size, in.	Outside Diameter, in. (mm)	Average Outside Diameter ^A Tolerances, in. (mm)	Wall Thickness and Tolerances, in.								Theoretical Mass, lb/ft (kg/m)			
			Type K				Type L							
			Wall Thickness		Wall Tolerance		Thickness		Tolerance		Type K	Type L		
¼	0.375 (9.52)	0.001 (0.025)	0.035 (0.889)	0.0035 (0.089)	0.030 (0.762)	0.003 (0.076)	0.145 (0.216)	0.126 (0.187)						
⅝	0.500 (12.7)	0.001 (0.025)	0.049 (1.24)	0.005 (0.13)	0.035 (0.889)	0.004 (0.10)	0.269 (0.400)	0.198 (0.295)						
½	0.625 (15.9)	0.001 (0.025)	0.049 (1.24)	0.005 (0.13)	0.040 (1.02)	0.004 (0.10)	0.344 (0.512)	0.285 (0.424)						
⅝	0.750 (19.1)	0.001 (0.025)	0.049 (1.24)	0.005 (0.13)	0.042 (1.07)	0.004 (0.10)	0.418 (0.622)	0.362 (0.539)						
¾	0.875 (22.3)	0.001 (0.025)	0.065 (1.65)	0.006 (0.15)	0.045 (1.14)	0.004 (0.10)	0.641 (0.954)	0.455 (0.677)						
1	1.125 (28.6)	0.0015 (0.038)	0.065 (1.65)	0.006 (0.15)	0.050 (1.27)	0.005 (0.13)	0.839 (1.25)	0.655 (0.975)						
1¼	1.375 (34.9)	0.0015 (0.038)	0.065 (1.65)	0.006 (0.15)	0.055 (1.40)	0.006 (0.15)	1.040 (1.55)	0.884 (1.32)						
1½	1.625 (41.3)	0.002 (0.051)	0.072 (1.83)	0.007 (0.18)	0.060 (1.52)	0.006 (0.15)	1.360 (2.02)	1.140 (1.70)						
2	2.125 (54.0)	0.002 (0.051)	0.083 (2.11)	0.008 (0.20)	0.070 (1.78)	0.007 (0.18)	2.060 (3.07)	1.750 (2.60)						
2½	2.625 (66.7)	0.002 (0.051)	0.095 (2.41)	0.010 (0.25)	0.080 (2.03)	0.008 (0.20)	2.930 (4.36)	2.480 (3.69)						
3	3.125 (79.4)	0.002 (0.051)	0.109 (2.77)	0.011 (0.28)	0.090 (2.29)	0.009 (0.23)	4.000 (5.95)	3.330 (4.96)						
3½	3.625 (92.1)	0.002 (0.051)	0.120 (3.05)	0.012 (0.30)	0.100 (2.54)	0.010 (0.25)	5.120 (7.62)	4.290 (6.38)						
4	4.125 (105)	0.002 (0.051)	0.134 (3.40)	0.013 (0.33)	0.110 (2.79)	0.011 (0.28)	6.510 (9.69)	5.380 (8.01)						
5	5.125 (130)	0.002 (0.051)	0.160 (4.06)	0.016 (0.41)	0.125 (3.18)	0.012 (0.30)	9.670 (14.4)	7.610 (11.3)						
6	6.125 (156)	0.002 (0.051)	0.192 (4.88)	0.019 (0.48)	0.140 (3.56)	0.014 (0.36)	13.900 (20.7)	10.200 (15.2)						
8	8.125 (206)	+0.002 (0.051) -0.006 (0.150)	0.271 (6.88)	0.027 (0.69)	0.200 (5.08)	0.020 (0.51)	25.900 (38.5)	19.300 (28.7)						

^A The average outside diameter of a tube is the average of the maximum and minimum outside diameter, as determined at any one cross section of the tube.

Tabel 4.2. Spesifikasi Pipa (2)

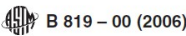


TABLE 6 Interior Surface Residue Limits of Straight Lengths, Type L

NOTE 1—The conversion of square foot to square metre is $\text{ft}^2 \times 0.092\,903 = \text{m}^2$.

Nominal or Standard Size, in.	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in. (mm)	Internal Area Per Length of Tube, ft ² (m ²) ^A				Residue Limit ^{B/20} ft (6.10 m), Straight Length, g	
			1 ft (0.305)		20 ft (6.10 mm ^C)			
1/4	0.375	0.030	(0.762)	0.0825	(0.0077)	1.65	(0.153)	0.0058
3/8	0.500	0.035	(0.889)	0.1126	(0.0105)	2.25	(0.209)	0.0079
1/2	0.625	0.040	(1.016)	0.1427	(0.0133)	2.85	(0.265)	0.0100
5/8	0.750	0.042	(1.07)	0.1744	(0.0162)	3.49	(0.324)	0.0122
3/4	0.875	0.045	(1.14)	0.2055	(0.0191)	4.11	(0.382)	0.0144
1	1.125	0.050	(1.27)	0.2683	(0.0249)	5.37	(0.499)	0.0188
1 1/4	1.375	0.055	(1.40)	0.3312	(0.0308)	6.62	(0.615)	0.0232
1 1/2	1.625	0.060	(1.52)	0.3940	(0.0366)	7.88	(0.732)	0.0276
2	2.125	0.070	(1.78)	0.5197	(0.0423)	10.39	(0.846)	0.0364
2 1/2	2.625	0.080	(2.03)	0.6453	(0.0599)	12.91	(1.199)	0.0453
3	3.125	0.090	(2.27)	0.7611	(0.0707)	15.42	(1.432)	0.0540
3 1/2	3.625	0.100	(2.54)	0.8966	(0.0833)	17.93	(1.666)	0.0628
4	4.125	0.110	(2.80)	1.0220	(0.0949)	20.44	(1.898)	0.0717
5	5.125	0.125	(3.18)	1.2763	(0.1186)	25.53	(2.372)	0.0894
6	6.125	0.140	(3.56)	1.5302	(0.1422)	30.60	(2.843)	0.1071
8	8.125	0.200	(5.08)	2.0224	(0.1879)	40.45	(3.758)	0.1416

^A Internal area per length of tube $\text{ft}^2 = (\pi)(\text{ID})(12)/144$
where:
 $\pi = 3.1416$, and
ID = inside diameter of tube.
^B Residue limit = (c) (0.0035 g/ft² or 0.038 g/m²)
where:
^C is the numerical value for 20 ft of internal area per size, and
.0035 g/ft² of 0.038 gm² is the standard limit.

Tabel 4.3. Spesifikasi Batubara

Proximate Analysis		Value
Total Moisture (TM)	(%, ar)	30,0
Calorific Value (CV)		
Gross CV	(kCal/kg, ar)	4.550
	(kCal/kg, ad)	5.500
Proximate Analysis		
Inherent Moisture (IM)	(%, ad)	15,0
Ash Content	(%, ad)	8,0
Volatile Matter (VM)	(%, ad)	39,0
Fixed Carbon (FC)	(%, ad)	38,0
Ultimate Analysis		
Carbon (C)	(%, ad)	63,9
Hydrogen (H)	(%, ad)	5,2
Oxygen (O)	(%, ad)	28,5
Nitrogen (N)	(%, ad)	1,6
Sulphur (S)	(%, ad)	0,8

Sumber: Arullah dkk., 2010 ; Laporan Tahunan PT BA, 2013: 4

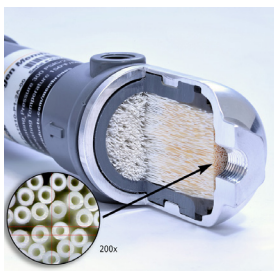
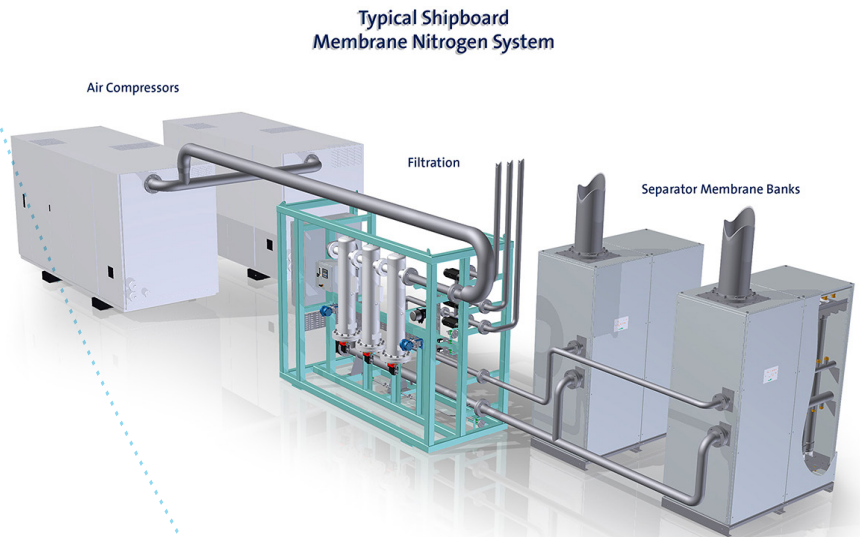
NC 2.0 Shipboard Nitrogen System

Nitrogen Membrane Systems for 420 to 6000 Nm³/h

The NC 2.0 Shipboard Nitrogen System is a PRISM[®] membrane-based nitrogen generator which is designed specifically for shipboard use. This robust skid-mounted system has the capacity to supply up to 6000 cubic meters (6000 Nm³/h) of nitrogen per hour, and meets demanding international marine standards.

The unique generating system warms up and delivers nitrogen quickly while automatically adjusting the purity even with variable feed inlet pressure. The modular design makes installation easy and internal components are protected by the rugged enclosure.

An easy-to-understand, solid-state, PLC user interface is integrated into the front panel where the operator can access all status signals, process parameters and alarms. There is also the option to interface the unit directly into ships IAS using a standard serial communication (MODBUS) connection which eliminates multicore cables. The NC 2.0 system will even remind you about routine maintenance and provide instant access to our service and parts department for simplified ordering.



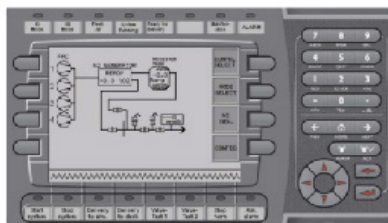
Each membrane separator contains thousand of tiny hollow fiber membranes which use selective permeation to separate nitrogen and oxygen molecules and route them into individual streams.

Features

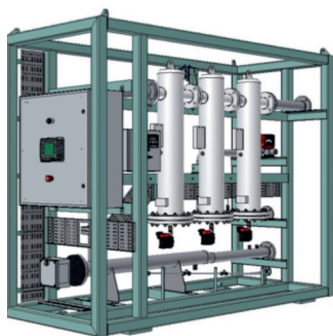
Operator terminal.
Feed air pre-treatment.
All necessary control valves and accessories.
Air Products PRISM® Membranes.
Online oxygen analyzer.
Feed air pre-treatment.
Product dew-point analyzer.
Separate outlet to receiver tank.
Double block-and-bleed design.
Remote monitoring. Prepared for telemetry.
Flange connections according to DIN or JIS standards.
Dual System LNG.
Approvals by all major Classification Societies.

Operator terminal functions:

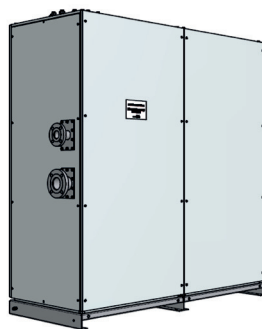
Monitor process and status indication.
Monitor alarms and alarm set points.
Start / Stop the nitrogen generator.
Delivery of nitrogen to cargo tanks.
Select working range (auto start/stop) for operation on nitrogen discharge pressure.
Select auto start/stop to nitrogen receiver tank.



Operator terminal



Filter and Control skid



Membrane separator banks

Specifications

El. Power consumption [kW]	7.0 – 7.5
Inlet air pressure [barg]	5.0 – 13.0
N ₂ product pressure [barg]	≤ 10.0
Nitrogen purity [% N ₂]	95.0 – 99.9

Maximum capacities

At 95% nitrogen purity	6000 Nm ³ /h
At 97% nitrogen purity	4000 Nm ³ /h
At 99% nitrogen purity	2000 Nm ³ /h
At 99.9% nitrogen purity	750 Nm ³ /h

Dimensions/Connections:

Nitrogen gen, LxWxH [mm]	(2800-3800) x 1100 x (2160-2360)
Membrane bank, LxWxH [mm]	(900-3135) x 810 x 2170
Max. weight N2 Gen [kg]	1100 – 2300
Max. weight Membrane Bank [kg]	600 – 1000
Flange connections	DIN /JIS standard



PRISM PA4050 membrane separator

The NC 2.0 Shipboard Nitrogen System incorporates PRISM® Membrane separation technology to generate nitrogen. PRISM Membranes are lightweight, durable, and efficient molecular separators.



DNV Type-A approved meets demanding international marine standards.

PRISM® is a registered trademark of Air Products and Chemicals, Inc.

Air Products Marine

Air Products AS-Norway

P.O. Box 4103 Kongsgaard
N-4689 Kristiansand, Norway
www.airproducts.no
Tel: +47 380 399 00
norway@airproducts.com

Facility address

Air Products AS
Vige Havnevei 78
4633 Kristiansand S
NORWAY



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data mengenai desain sistem pengeringan batubara menggunakan gas Nitrogen di Ruang Palkah Kapal, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem distribusi Gas Nitrogen pada sistem pengeringan ini dimulai dari Generator Nitrogen yang berfungsi untuk menyediakan Gas Nitrogen yang bersifat udara kering. Di dalam Generator Nitrogen terdapat membran yang digunakan untuk memisahkan antara Gas Nitrogen dengan gas-gas yang lain. Selanjutnya gas nitrogen yang berasal dari generator Nitrogen dialirkan pada seluruh ruang palkah kapal secara paralel. Hal tersebut dikarenakan agar proses pengeringan lebih efektif. Gas Nitrogen akan berada di ruang palkah sampai tekanan dalam ruang palkah mencapai 3 bar, karena kondisi ruang palkah yang tertutup dan ditambah dengan adanya gas nitrogen di sekitar ruang palkah akan menyebabkan tekanan dalam ruang palkah meningkat. Oleh karena itu, gas nitrogen akan dikeluarkan melalui vent pipe dari katup yang terpasang pada setiap ruang palkah kapal.
2. Batubara yang digunakan dalam proses pengeringan ini yaitu batubara Sub-bituminus. Jumlah kandungan uap air awal batubara yaitu 30% sesuai dengan Tabel 4.3. Spesifikasi Batubara. Dari hasil perhitungan *Moisture Content* akhir setelah proses pengeringan, nilai yang didapatkan yaitu :
 - *Moisture Content* Ruang Palkah I : 4,4 %
 - *Moisture Content* Ruang Palkah II : 3,4 %
 - *Moisture Content* Ruang Palkah III : 3,5 %
 - *Moisture Content* Ruang Palkah IV : 3,8 %
 - *Moisture Content* Ruang Palkah V : 7,2 %
3. Dalam sistem pengeringan batubara dibutuhkan waktu 25 jam pada *Constant-Rate Drying*. Sedangkan untuk pengeringan

penggunaan Gas Nitrogen di kapal akan dinyalakan setiap 2 jam per hari. Hal tersebut dikarenakan waktu pelayaran kapal ± 12 hari.

4. Dari perhitungan HHV dan LHV, maka nilai yang didapatkan yaitu HHV = 5767,33 kCal/kg sedangkan untuk nilai LHV dari 3 *moisture content* yang berbeda yaitu MC 30% LHV : 5326,33 kCal/kg, MC 3,4% LHV : 5479,37 kCal/kg, dan MC 7,2% LHV : 5457,58 kCal/kg. Oleh karena itu, semakin besar massa batubara maka nilai kalorinya tinggi, namun nilai *moisture content* akan berkurang. Sebaliknya, semakin kecil massa batubara maka nilai kalorinya lebih rendah, namun nilai *moisture content* akan lebih besar daripada nilai MC dengan massa batubara yang besar.

V.2 Saran

Tugas Akhir yang telah dikerjakan ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat dilanjutkan dan dikembangkan lagi secara mendalam dengan kajian yang lebih lengkap. Adapun beberapa saran dari penulis sebagai berikut :

1. Diperlukan adanya analisa mengenai Generator Nitrogen beserta desain ruang palkah kapal muatan batubara agar dapat mengetahui efisiensi dari sistem pengeringan ini.
2. Diperlukan studi lebih lanjut dan eksperimen untuk mengetahui temperatur pasti dari hasil pengeringan batubara.

DAFTAR PUSTAKA

1. Air Products Marine Systems. 2009. *NC 1.1 Nitrogen Cabinet (Shipboard Nitrogen Membrane Systems)*. Norway.
2. Anonim 1. Coal. <URL https://id.wikipedia.org/wiki/Batu_bara>.
3. Anonim 1. **Klasifikasi Batubara**. <URL <http://eprints.polsri.ac.id/942/3/2.%20Bab%20II.pdf>>.
4. Arias, Genta, dkk. 2013. **Pengeringan Low Rank Coal dengan Menggunakan Metode Pemanasan tanpa Kehadiran Oksigen**. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539.
5. Asmatulu, R. 2001. *Advanced Chemical-Mechanical Dewatering of Fine Particles*. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Materials Science and Engineering, Blacksburg.
6. Asosiasi Pertambangan Batubara Indonesia. <http://www.apbi-icma.org/global-chart/>. November, 2015.
7. ASTM International. 2002. *ASTM B-819 – 02 Standard Specification for Seamless Copper Tube for Medical Gas Systems*. In ASTM.
8. Dawei, W., & Chenglin, Z. 2006. *Study on The Coefficient of Heat Transfer of Convection in The Stage of Constant Rate Drying*. Acad Period Farm Production Process , 40-42.
9. Fuad, Ainun. 2011. **Kimia Pembakaran SDA non Pembaharui**. Teknik Mesin. Universitas Negeri Malang.
10. Geankoplis, Christie John. 1986. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)*. University of Minnesota.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan pada tanggal 5 Desember 1994 di Surabaya, Jawa Timur. Saya merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Saya merupakan alumni dari SDK Santo Yosef Surabaya, SMP Santo Yosef Surabaya dan SMA Santo Carolus Surabaya. Penulis melanjutkan studi Strata 1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, terdaftar dengan NRP 42 12 100 129 dan mengambil konsentrasi bidang keahlian *Fluid Marine Machinery and System* (MMS). Selama perkuliahan penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) sebagai Bendahara Umum 2. Selain itu penulis juga pernah melakukan kerja praktek di Galangan Surya PT. Pelnis Surabaya dan PT. Terminal Teluk Lamong.

Natalia Dea Kartika

nataliadeakartika@gmail.com